

Title	深紫外分光技術の確立とAlGaIn系量子井戸の再結合ダイナミクスの研究(Abstract_要旨)
Author(s)	岩田, 佳也
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2015-03-23
URL	http://dx.doi.org/10.14989/doctor.k18948
Right	許諾条件により本文は2015/12/14に公開
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

京都大学	博士（工学）	氏名	岩田 佳也
論文題目	深紫外分光技術の確立と AlGa _N 系量子井戸の再結合ダイナミクスの研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、半導体を用いた深紫外固体発光素子の実現に向けて、深紫外領域における分光技術を提案・確立している。また、深紫外固体発光素子の材料として期待される、高 Al 組成 AlGa_N/Al_N 量子井戸におけるキャリアの発光機構や結晶不均一性の程度を定量的に論じたものであって、全 6 章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論であり、本論文の背景と目的、そして本論文の構成について述べている。深紫外光は、水や空気の清浄・殺菌、有害物質の分解、医療応用、加工やフォトリソグラフィ、高密度光記録、紫外線硬化樹脂、蛍光灯の蛍光体励起、近年では人工降雨など数多くの応用例が挙げられる重要な光である。現在、深紫外光源として、主に水銀ガスの輝線や各種エキシマ光源などが用いられている。しかしながら、これらの装置は、有害な水銀やフッ化物などを使用したガス光源であるため、環境への負荷が大きく、さらに装置の大型化、高コスト、短寿命といった多くの欠点を有する。これらの欠点を解決するためには、無害で堅固な固体発光素子への転換が必要である。現在、その固体材料として、AlGa_N という材料が注目されている。しかしながら、発光素子への応用上重要な高 Al 組成 AlGa_N/Al_N 量子井戸に対するキャリアの再結合ダイナミクスの包括的な議論はなされておらず、AlGa_N の光学特性には未解明な部分が多いという問題がある。その主な理由として、深紫外領域における励起光源、光学部品の不足による、深紫外領域における光学測定の高難易度が挙げられる。そこで、本論文では、深紫外領域における分光装置開発を行い、それらを用いて高 Al 組成 AlGa_N/Al_N 量子井戸の光学特性を解明することで、AlGa_N に固有な物性の議論を深めることを目指している。</p> <p>第 2 章は、深紫外領域における励起光源の開発のために必要な非線形光学の知識・理論を説明し、本研究で用いる深紫外励起光源の開発の過程を述べている。また、顕微分光測定のために必要な、幾何・波動光学の原理を説明し、それを基にした深紫外領域における共焦点光学顕微鏡の装置開発について述べている。具体的には、弱励起用光源としてピコ秒 Ti:sapphire レーザの第四高調波発生装置を、強励起用光源として光学パラメトリック発振器を用いた波長可変な深紫外光源を構築している。また、光学顕微鏡に関しては、赤外線領域や極紫外線領域でよく用いられる反射光学系に着目し、その肝である反射型対物レンズを用いた、深紫外領域に対応可能な共焦点光学顕微鏡の構築を行っており、1.8 μm の空間分</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	岩田 佳也
<p>解能を実現している。</p> <p>第3章は、開発した励起光源、測定装置を組み合わせ、現有の装置では実現できなかった広範囲の励起キャリア密度条件におけるフォトルミネッセンス(PL)測定、時間分解 PL 測定を行っている。PL 積分強度やキャリアの再結合寿命の励起強度依存性の結果を基に、高 Al 組成 AlGa_N/AlN 量子井戸内における励起子から電子正孔プラズマへの再結合過程の変化を議論している。特に、極低温においても非輻射再結合過程が存在することを実験的に示し、非輻射再結合中心密度や輻射再結合確率の定量化のため、レート方程式による再結合過程のモデル化を行っている。また、レート方程式の議論から、現在発光ダイオードの内部量子効率を議論する際によく用いられる、ABC モデルへ警鐘を鳴らしている。</p> <p>第4章は、開発したピコ秒 Ti:sapphire レーザの第四高調波発生装置、および共焦点光学顕微鏡を用いた顕微 PL 測定による、高 Al 組成 AlGa_N/AlN 量子井戸内における結晶不均一性の定量化を行っている。また、顕微 PL 測定と空間分解能の異なる CL 測定の結果と合わせ、高 Al 組成 AlGa_Nにおける不均一性の空間階層に関して議論している。これらの議論から、高 Al 組成 AlGa_N/AlN 量子井戸に内包される不均一性の空間階層に関する知見を深めている。</p> <p>第5章は、AlN 基板上に成長した、ホモエピタキシャル高 Al 組成 AlGa_N/AlN 量子井戸に対する顕微 PL 測定において、その発光スペクトルに明瞭な L0 フォノンレプリカを観測している。L0 フォノン相互作用の大きさを表す S パラメータを PL スペクトルから求め、定量的な議論のために S パラメータの計算結果と比較している。比較結果より、従来用いられている Flöhlich 相互作用に基付いた計算モデルでは説明できないことを明らかにしている。そこで、変形ポテンシャル相互作用の考えを用いることにより、高 Al 組成 AlGa_N/AlN 量子井戸における励起子の、Frenkel 励起子寄りの特性を議論している。</p> <p>第6章は、本研究の総括と、今後の課題についてまとめている。また、それを基にして、深紫外領域における分光技術や、高 Al 組成 AlGa_N/AlN 量子井戸に対する光学評価の将来の展望についても述べている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、半導体を用いた深紫外領域の固体発光素子を実現するために、深紫外領域における分光技術を確立し、深紫外固体発光素子の材料として期待される、高 Al 組成 AlGa_N/AlN 量子井戸における光学特性を定量的に議論したものであり、得られた成果は次のとおりである。

1. 深紫外領域における時間・空間分解分光装置の構築
 - ・ピコ秒 Ti:sapphire レーザの第四高調波発生装置と、光学パラメトリック発振器を用いた波長可変光源の 2 つの深紫外励起光源を構築
 - ・反射光学系を用いた深紫外領域対応の共焦点レーザ顕微鏡を構築
2. 高 Al 組成 AlGa_N/AlN 量子井戸における発光機構の解明
 - ・励起子から電子正孔プラズマまで、AlGa_N 量子井戸における発光機構の変化を実験的に観測
 - ・極低温における非輻射再結合過程の存在を実証
 - ・AlGa_N 量子井戸における非輻射再結合中心密度、内部量子効率を定量化
3. 高 Al 組成 AlGa_N/AlN 量子井戸に対する結晶不均一性の定量化
 - ・深紫外領域における顕微 PL 測定を実現
 - ・AlGa_N 量子井戸における結晶不均一性の空間スケールを分類
4. 高 Al 組成 AlGa_N/AlN 量子井戸における LO フォノン相互作用の理解
 - ・顕微 PL 測定により明瞭な LO フォノンレプリカを観測
 - ・計算との比較により AlGa_N 量子井戸における Frenkel 励起子的な特性を指摘

本論文は、深紫外領域における光学測定手法を確立することによって、高 Al 組成 AlGa_N/AlN 量子井戸の発光機構を実験的・定量的な解析によって明らかにしている。また、AlGa_N の物性解明だけでなく、他の材料の測定も見据えた光学測定装置開発を行っていることから、学術上だけでなく、技術応用上においても寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 27 年 1 月 28 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。